

Capítulo quinto

El sector minero español buscando su futuro: estrategias de abastecimiento y de clúster de desarrollo

*José Antonio Espí
Luis de la Torre Palacios*

Resumen

A nivel estratégico, hoy la minería española posee un claro sentido económico y social dirigido al abastecimiento de la industria y servicios propios y al desarrollo regional en algunos casos. El tercer nivel estratégico se refiere a los minerales escasos o tecnológicos que pueden formar una pieza importante en la estrategia de suministro seguro para la Unión Europea. El estudio también introduce el concepto de *clúster* o aglomeración productiva como guía para asegurar el desarrollo sostenible en sus aspectos económico, ambiental y socialmente duraderos. Con ello, además de asegurar la calidad del desarrollo minero, puede llegar a garantizar la permanencia económica o ambiental después de que haya desaparecido la actividad minera.

Palabras clave

Minería, abastecimiento, agrupaciones industriales, materias primas minerales, desarrollo.

The Spanish mining sector looking for its future: Supply strategies and development cluster

Abstract

Today, Spanish mining has a clear economic and social sense aimed to supply to the industry, to its own services and, in some cases, at the regional development. The third strategic level refers to scarce or technological minerals that can be an important piece in the safe supply strategy for the European Union. The study also introduces the concept of «cluster» or productive agglomeration as a guide to ensure sustainable development in its economic, environmental and social aspects. This ensures both the quality of the mining development and the guarantee of economic or environmental permanence after the mining activity has disappeared.

Keywords

Mining, mineral supply, industrial clusters, mineral raw materials, development

Contexto actual de la minería española

Hoy, la actividad minera en general se diferencia de otros sectores de la economía en que depende de recursos no renovables como materias primas para la producción y, por lo general, requiere grandes inversiones para formalizar una nueva capacidad. Además, estas pueden tardar un tiempo considerable en completarse y volverse operativas. La eficiencia de la producción está determinada por factores tales como la tecnología, la gestión, las habilidades y las prácticas laborales.

La productividad en la minería también refleja la influencia de los recursos naturales. Aunque estos son un insumo importante en la producción, los cambios en su calidad generalmente no se tienen en cuenta en la valoración estándar de su productividad. Esta se manifiesta no solo como cambios en la eficiencia de la producción, sino también en las variaciones en la calidad subyacente y en la accesibilidad de los recursos naturales. Por lo general, se pasan por alto porque estos recursos no se adquieren como bienes del proceso. En otras palabras, los recursos naturales tienden a tomarse como «dados», o bien como variables ambientales¹.

La minería posee un alto nivel de productividad en comparación con otras industrias. La eficiencia laboral en la minería es alta porque este sector industrial es relativamente intensivo en capital (más capital disponible por hora de trabajador). Al mismo tiempo, la productividad de la mano de obra también resulta más variable a lo largo del tiempo porque el trabajo del personal representa una proporción comparativamente pequeña de los gastos totales.

Con estas ideas se comprende cómo es la situación actual respecto al aprovechamiento económico de las materias primas minerales y el grado de introducción de países más que emergentes en el panorama mundial. China, India y otros Estados con una potente economía (medida en actividad económica y en demografía) tratan de acceder a unos recursos más que nunca demandados en el contexto mundial. Europa, consciente de lo evidente del problema, trata, desde hace pocos años, de realizar su propia política de abastecimiento, empezando por revalorizar sus propios recursos.

¹ AUSTRALIAN PRODUCTIVITY COMMISSION. *Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation*. Staff Working Paper. December 2008.

Nuestro país, antaño gran productor a nivel mundial, se ha visto totalmente superado con la producción global de minerales en el pasado siglo. No obstante, la situación actual diferencia a una minería moderna situada a un elevado nivel tecnológico y significativa en el contexto europeo y que, hablando de manera global, corresponde a la minería de minerales metálicos. Esta evolución ha ocurrido amparada en los notables precios de algunos metales como respuesta, en los últimos años, a una demanda que refleja las necesidades crecientes de la población y la economía mundiales.

Todo lo anterior se enmarca en un momento en que la actividad minera se ha vuelto cada vez más compleja y más difícil de desarrollar: la disminución en la calidad de los nuevos depósitos y la necesidad de aumentar la eficacia tecnológica y económica de las explotaciones para hacer frente a ello. También se han incorporado las crecientes exigencias de calidad ambiental y aceptación social para su desenvolvimiento y, en muchos casos, la limitada preocupación de las administraciones públicas sobre políticas de carácter general, que deberían orientar a todos los actores que comprende el complejo productivo.

Geología y agrupamiento de yacimientos minerales en España

Condiciones geológicas de los depósitos minerales en producción

En el suroeste de Europa, la mayoría de las provincias metalogénicas están ligadas al Cinturón Varisco europeo, que es el macizo Hespérico en Iberia. En referencia a los depósitos de minerales metálicos operativos en Iberia, se podrían considerar dos grandes provincias metalogénicas. Una de las características de la Zona Sur de Portugal (SPZ) es la abundancia y el tamaño de los depósitos de sulfuros masivos que contiene. La parte de la SPZ donde existen estos minerales se conoce como la Faja Ibérica de Piritas². La IPB (Iberian Piritic Belt), que forma parte del Cinturón Hercínico, consta de rocas del Devónico tardío al Carbonífero medio que albergan considerables depósitos de sulfuros masivos (VMS) mineralizados alojados en rocas volcánicas: 1700 mill. t

² BARRIGA, F. J. Pre-Mesozoic Geology of Iberia. En: R. D. Dallmeyer y E. Martínez García (ed.). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag 1990, pp. 369-379.

de sulfuros que constan de 14,6 mill. t de Cu, 13,0 mill. t de Pb, 34,9 mill. t de Zn, 46 100 t de Ag y 880 t de Au³.

Varios yacimientos de menor importancia económica se localizan en la Zona Galicia-Tras-os-Montes, la Zona Oeste Asturiano-Leonesa y la Zona Centro Ibérica, en Portugal y España. Existen ocurrencias minerales productivas que contienen metales que se utilizan en aplicaciones tecnológicas (Sn, W, Ta y Li). Estos depósitos se forman generalmente por procesos magmático-hidrotermales y comúnmente se relacionan con rocas magmáticas con composiciones graníticas.

Otras áreas de interés metalogénico se ubican en la Zona Asturiano-Leonesa, que contiene la única mina de oro activa en la península ibérica, y la Zona Ossa Morena, que tiene considerables posibilidades de investigación para diversos metales.

A menudo, la asignación de un «depósito de mineral» a una provincia metalogénica específica es decisiva. En la IPB, la geoquímica y morfología de sus depósitos son los determinantes del sistema minero. En sus modelos fundamentales (diseminado, masivo y «zona de alimentación de *stockwork*»), aparecen frecuentemente imbricados, deformados (probablemente con flujo de material) e incluso invertidos. Sin embargo, juntos forman lentejones, que a menudo son cortas y gruesas⁴. Además, las configuraciones finales dejadas por las fases tectónicas a las que han sido sometidas tienden a ocupar tanto los flancos como las charnelas de los apretados pliegues de la Orogenia Varisca.

Esta morfología favorece la explotación económica a profundidades medias y, en el futuro, aún más profundas, en sistemas de explotación por subniveles con o sin relleno. Además, el acortamiento (pliegues muy apretados e imbricamientos) ayuda sustancialmente a la exploración. Por esta razón, los éxitos en exploración no son raros después de haber gastado cantidades considerables de dinero en esta empresa.

Las diferencias entre las características geotécnicas de un cuerpo mineral y sus hastiales facilitan una baja dilución en los stoc-

³ INVERNO, C. *et al.* 3D, 4D and Predictive Modelling of Major Mineral Belts in Europe. *Introduction and Geological Setting of the Iberian Pyrite Belt*. Springer, 2015, pp. 191-208.

⁴ TORNOS, F. «La Geología y Metalogenia de la Faja Pirítica Ibérica». *Macla*, n.º 10, noviembre 2008, pp. 13-23. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. Conferencia invitada: Tornos, 3-23.

kwork y en los minerales masivos. Además, la densidad de todos los metales que acompañan a los sulfuros es un factor de eficiencia volumétrica extractiva, de interés en la minería subterránea. Así, los enriquecimientos secundarios de los principales metales ligados a las últimas etapas de deformación favorecen la selección de sus calidades.

Por otro lado, los minerales tecnológicos (wolframio-estaño-tántalo-litio) no suelen presentar homogeneidad morfológica, incluso en su entorno, siempre muy disperso, lo que no facilita la formación de clústers de explotación. Además, los proyectos actuales carecen de dimensiones importantes y presentan muchas variaciones individuales. Por lo tanto, la tendencia del wolframio a ser explotado como minerales de scheelita se debe tanto a su abundancia relativa como a la falta previa de extracción. Esto genera problemas metalúrgicos y carece de aceptación social, tal como se puede ver en áreas sin tradición minera reciente.

Agrupamiento de los yacimientos minerales en producción

Se puede contemplar un agrupamiento de depósitos minerales referido a sus usos desde la perspectiva de Stephen Kesler en su libro *Mineral Resources, Economics, and the Environment*⁵. Este libro contiene información actualizada sobre la geología y distribución de metales denominados *elementos tecnológicos*. En este caso se describen los principales recursos, así como las condiciones tecnológicas y económicas de los metales básicos (por ejemplo, aluminio y cobre) y algunos metales seleccionados (por ejemplo, litio y tierras raras). Este libro contiene una descripción de los recursos disponibles actualmente y la distribución de tales depósitos, además del uso de este grupo de metales en varios campos de rápido crecimiento. En este sentido, los tres grupos siguientes se consideran por separado en la producción de metales ibéricos.

Los metales base (Cu-Zn-Pb). No existe una definición rigurosa para este grupo de metales. El aluminio, el cobre, el zinc, el plomo y el níquel generalmente se consideran metales base. Sin embargo, en el caso de la minería en la península ibérica, solo se consideran cobre, zinc y plomo. Esto se debe a su importancia

⁵ KESLER, E.; SIMON, A. *Mineral Resources, Economics and the Environment*. Cambridge: Cambridge University Press 2015, 434 p.

económica. El níquel cesó hace unos años, y no existen depósitos de aluminio de gran importancia.

En principio, los minerales básicos se producen en relativamente grandes cantidades, y suelen poseer una «vida de las reservas» de más de 100 años. Sin embargo, las concentraciones valoradas de plomo y zinc poseen vidas de tan solo 20 a 25 años. En este el caso, esta cantidad ha seguido siendo la misma desde más de 50 años, a pesar de un elevado aumento en la producción. Esta estabilidad significa un equilibrio dinámico entre el consumo y el descubrimiento de nuevas reservas de los dos metales en los últimos 50 años. Obviamente, resulta mucho más importante y constante el esfuerzo necesario para mantener un equilibrio dinámico para los minerales básicos de vida más breve que para los de muy larga vida útil⁶.

El grupo W-Sn-Ta-Li. De la Torre y Espí⁷ se refirieron al grupo W-Sn-Ta-Li como de minerales escasos. En el grupo W-Sn-Ta-Li, a veces existe una asociación natural de tipos geológicos y metalogénicos, al menos para aquellos bajo las condiciones geológicas más frecuentes. Estos metales son escasos y con afinidad por el hierro (acero) que produce aleaciones o mejoramiento superficial (estaño en la fabricación de hojalata, tungsteno, niobio), y pertenecen al grupo de metales con valor tecnológico⁶, especialmente el tántalo y el litio, de extraordinario interés.

Metales preciosos (Au, Ag). Los metales preciosos se clasifican como tales debido a su elevado precio. Son metales que se encuentran regularmente en la naturaleza en estado libre, es decir, no se combinan con otros elementos químicos. En Iberia solo hay un proyecto productor de oro, aunque las posibilidades de tener una producción apreciable de este metal son razonablemente altas. La plata es un elemento que acompaña inevitablemente a los minerales de cobre y zinc. Por este motivo, y especialmente en la Faja Pirítica Ibérica (IPB), la plata contribuye de forma desigual a la viabilidad económica de la producción de estos dos metales.

⁶ WELLMER, F.; BECKER-PLATEN, J. «Sustainable development and the exploitation of mineral and energy resources: a review». *International Journal of Earth Sciences*, vol. 91, 2002, pp. 723-745.

⁷ DE LA TORRE, L.; ESPÍ, J. A. «Are investments in priority mineral raw materials attractive?». *Buscando Valor*. <https://rankia.s3.amazonaws.com/promociones/buscando-valor/Revista-05-Buscando-Valor-Julio-2019.pdf>

Los minerales no metálicos con valor estratégico (espato flúor y estroncio)

Los minerales no metálicos. El papel de los minerales industriales en la minería española ha ido perdiendo valor en los últimos años hasta llegar, en el año 2017, a 851 millones de euros, o el 24,4% de valor total de la producción de los minerales españoles.

De manera general, los minerales no metálicos se diferencian de los metálicos en que:

- Se suministran en grandes cantidades.
- No suelen requerir procesos de concentración, sino de preparación para su venta.
- Generalmente se venden anhidros y, por lo tanto, es frecuente que precisen evaporar la humedad de proceso.
- Casi siempre se explotan a cielo abierto, con bajas razones de desmonte (producen pocos residuos).
- No son contaminantes, ya que no suelen llevar sulfuros asociados.

De esta manera, son pocos los minerales no metálicos estratégicos para la UE. Sin embargo, la fluorita, el estroncio, el grafito y otros sí se integran en el grupo de los críticos. De ellos, los dos primeros se producen en nuestro país.

Los proyectos mineros actuales

Asumiendo la agrupación de proyectos según los criterios descritos anteriormente, se presentan sus características de producción más importantes.

Los metales básicos (Cu-Zn-Pb)

Proyecto	Dimensión (mill. t/año)	Dimensión unidades de producción	Vida (años)	Estatus de desarrollo***
COBRE				
Aguas Teñidas y otros	4 mill. t/a (mill. t) Subterránea	60 000 t Cu; 110 000 t Zn 34 000 t Pb	abierto	5
Cobre Las Cruces	1,4 mill. t/a Cielo abierto	70 000 t Cu	abierto	5 (en transformación)
Riotinto	10,5 to 15,0 mil. t/y <i>Open-pit expansion</i>	44 950 t Cu	open	5
Touro*	7,0 mill. t/a Cielo abierto	30 000 t Cu	13	3-4

Proyecto	Dimensión (mill. t/año)	Dimensión unidades de producción	Vida (años)	Estatus de desarrollo***
ZINC-PLOMO				
Los Frailes*	2,7 mill. t/a Subterránea	133280 t Zn eq/a	20	3-4
Total*	0,45 mill. t/a Subterránea	28760 t Zn eq/y	9	3

(*) en espera; (**) objetivo; (***) (1) El proyecto se encuentra en una fase de evaluación muy preliminar y no tiene un estándar que lo respalde. (2) Proyectos diseñados a partir de recursos que aún no han sido valorados en su totalidad. Se admite un estudio de alcance. (3) Proyecto en fase de evaluación que ya cuenta con un PEA reconocido por un estándar internacional. (4) Proyecto en fase de construcción o que ya cuenta con un informe técnico acreditado que presenta los últimos problemas de aceptación. (5) Proyecto en fase minera.

Tabla 1. Situación de los proyectos de cobre-zinc-plomo españoles.

Cuadro de situación y datos básicos de apoyo a las tablas 1-4
-Referencia y año: se refiere al documento principal donde se ha obtenido la mayor parte de la información. Se mencionan el nombre oficial de la empresa y el año de la información. Además, el estándar en él incluye (JORC, NI 43, PERC u otro).
-Dimensión (t/año): es la dimensión indicada por la capacidad nominal o el promedio anual del proyecto, en millones de toneladas ROM/año.
-Dimensión de la producción en unidades de metal/año: cantidad de metal recuperado y vendido en un año. Es el más utilizado en el comercio de minerales y metales. Por lo tanto, para el cobre, zinc y plomo son las toneladas equivalentes de metal (eq.). Para el estaño, la tonelada de Sn metal. Para tungsteno, mtu o 10 kg WO ₃ . Para tántalo, kg de Ta ₂ O ₅ . Para el litio, la tonelada de LCE o carbonato de litio equivalente. Para oro y plata, onz Au eq.
-Vida: es la vida del proyecto (años), suministrada por la empresa o calculada a partir de recursos (I + M) y las reservas.
-Estado de desarrollo: en la tabla se ha considerado la siguiente escala: (1) Proyectos en fase de evaluación muy preliminar y que no tienen un estándar que los acredite. (2) Proyectos diseñados a partir de recursos aún no totalmente valorados. Se admite un estudio de alcance. (3) Proyectos en fase de evaluación que ya cuenta con un PEA reconocido por un estándar internacional. (4) Proyectos en fase de construcción o que ya cuentan con un informe técnico acreditado y que presentan los últimos problemas de aceptación. (5) Proyecto en fase de explotación minera.

Tabla 2. Explicación de las columnas de las tablas 1-4.

El diseño minero de los proyectos de IPB se basa en las variadas características morfológicas y geoquímicas de sus depósitos de mineral. En general, los cuerpos de sulfuros masivos ocupan el

núcleo de los principales yacimientos: Aguas Teñidas (Cu, Zn), Sotiel Coronada (Zn, Cu) y Magdalena-MATSA (Cu, Zn) y Cobre Las Cruces (Cu) (tabla 1). Todos estos yacimientos se explotan como «cobrizos» (más o menos ricos en cobre). Sin embargo, Los Frailes contiene cantidades apreciables de zinc y plomo (tabla 1). Además, los *stockworks* de Riotinto-Atalaya Mining (cobre), los sulfuros primarios diseminados y *stockworks* también se explotan en el nuevo proyecto CLC, denominado PMR (Refinería Polimetalúrgica), que reemplazará al proyecto actual, que se encuentra en fase de cierre. Este proyecto ha revelado una cantidad sustancial de sulfuros de cobre y zinc debajo de la masa de sulfuros secundarios ya casi agotada. Estos minerales forman parte de los «alimentadores» del cuerpo principal y, por tanto, sus leyes son notablemente inferiores.

El depósito de Aguas Teñidas también posee un stock deformado adherido a la masa principal. Las leyes también son muy variables. Los sulfuros masivos tienen leyes de cobre explotables superiores al 2% Cu («cobrizos», ricos en cobre) de Aguas Teñidas y Magdalena. Destaca el yacimiento de cobre de Las Cruces, con leyes promedio del orden de 6% Cu (sulfuros secundarios). Los sulfuros masivos que contienen zinc y plomo no suelen superar el 5% de Zn (Aguas Teñidas y Sotiel). Todos estos depósitos se extraen por medio de operaciones mineras subterráneas.

Sin embargo, los *stockworks* actuales no superan el 0,5% Cu en Riotinto-Atalaya Mining, mientras que son algo superiores en Aguas Teñidas. El próximo proyecto Cobre Las Cruces (CLC) explotará un depósito de mineral primario (incluidos los «alimentadores») con solo 1,1% Cu, 2,6% Zn y 1,3% Pb. El proyecto Riotinto está configurado para explotar un «cielo abierto» con una relación de desmonte baja, mientras que el proyecto PMR operará una mina subterránea debido a obligaciones administrativas, mientras que el cielo abierto de CLC recientemente paralizado posee una relación de desmonte muy alta (aproximadamente 14/1, t/t). Las producciones de los proyectos ibéricos actuales son bastante similares (tabla 1). Así, aproximadamente 70000 t Cu al año son producidas por Cobre Las Cruces, Aguas Teñidas (con sus tres depósitos), y, posiblemente, Touro-Atalaya Mining puede entrar en funcionamiento en breve plazo.

En la producción de zinc-plomo, las 130000 toneladas de zinc equivalente en plomo es la capacidad de producción actual de MATSA (Aguas Teñidas-Magdalena-Sotiel), pero esto podría lograrse (o cerca de ello) en poco tiempo en el proyecto CLC-PMR

y Los Frailes. Se han dejado fuera de descripción dos proyectos pendientes: la mina Touro, en la provincia metalogénica de Galicia-Zona Tras-os-Montes, y la mina Toral, en la Zona Oeste Asturiano-Leonesa. La más desarrollada de las dos es la mina Touro, que ya estaría operativa si hubiera obtenido un permiso ambiental de la Administración regional.

Grupo W-Sn-Ta-Li (metales tecnológicos)

Proyecto	Dimensión (t ROM/year)	Dimensión unidades de producción	Vida (años)	Estatus desarrollo
ESTAÑO				
Oropesa*	0,5-1,0 mill. t/a Cielo abierto	2000 t Sn/a	14	4
WOLFRAMIO				
La Parrilla	2,0-3,4 mill. t/a Cielo abierto	178 kmtu/a a 264 kmtu/y	9	5
San Finx	0,07 mill. t/a Subterránea	78 kmtu/a eq.	-	5**
Los Santos	0,45 mill. t/a Cielo abierto y subterránea	80 kmtu/a	3	5**
Barrueco	1,1 mill. t/a Cielo abierto	260 kmtu/a	9	5
Vaitrexal*	0,5 mill. t/a Cielo abierto	100 kmtu/a	13	3
TÁNTALO				
Penota	3 mill. t/a Cielo abierto	231 t Ta ₂ O ₅ 1400 t Sn	21	5
Alberta II*	-	-	-	2
LITIO				
Valdeflórez*	1,25 mill. t/a Cielo abierto	15000 t HxLi/a 19500 t LCE*** eq	24	3-4
Las Navas*	2,3 mill. t/a Cielo abierto y subterránea	24000 t LCE/y	20	2

(*) en espera; (**) paralizado; (***) carbonato de litio equivalente.

Tabla 3. Situación de los proyectos españoles de estaño, wolframio, tántalo y litio.

En referencia al contexto geológico de las mineralizaciones económicas españolas, existen otras dos zonas estrechamente relacionadas, denominadas Zona Central Ibérica (CIZ) y Zona

Galicia-Tras-Os-Montes (GTMZ). Las dos contienen manifestaciones minerales productivas de metales tecnológicos (Sn, W, Ta, Li) (tabla 3). Las mineralizaciones se ubican principalmente en relación a campos pegmatíticos y cúpulas leucograníticas, además de *stockworks* y vetas en las rocas portadoras.

Estaño. El estaño se distribuye ampliamente por toda Iberia, y hay abundantes depósitos mineralizados: plutones, granitos y domos, *stockworks* y placeres. Sin embargo, con los precios del estaño de los últimos años, solo la mina Oropesa posee viabilidad económica. Descubierta a finales del siglo pasado, Oropesa ha sido incluida en varios proyectos diferentes en los últimos tiempos. La versión óptima del proyecto se realiza en minería a cielo abierto y produciría no menos de 2000 t/año de Sn. Su ley de estaño es bastante alta, refiriéndose a una minería a cielo abierto. Actualmente, este proyecto está a la espera del permiso ambiental.

Wolframio. España ha sido un gran productor de wolframio durante el último siglo. En la actualidad, respaldado por precios razonables de los metales, parece que su producción se reanudará nuevamente a niveles incluso superiores a los de antes. Los principales proyectos son los siguientes:

- Los Santos (Salamanca). Los Santos es un depósito skarn. Estos yacimientos que contienen scheelita forman cuerpos depositados por fluidos magmático-hidrotermales asociados con intrusiones granitoides en rocas metasedimentarias carbonatadas. El proyecto de Los Santos acaba de ser detenido, sin llegar a la etapa final de minería subterránea.
- Valtreixal (Zamora). Es un depósito hidrotermal complejo formado por vetas hidrotermales, pero también contiene minerales de skarn relacionados con un horizonte dentro de los esquistos verdes. La mineralización de wolframio, como scheelita, aparece principalmente fuera de las vetas de cuarzo y parece tener un origen estratoligado. Además, existe una mineralización asociada de estaño (casiterita) que se encuentra dentro y alrededor de las vetas de cuarzo. La empresa propietaria, ALMONTY R., también es propietaria del depósito de Los Santos, al que probablemente reemplazará.
- San Finx (La Coruña). El yacimiento de San Finx está formado por vetas de cuarzo hidrotermal, con casiterita y wolframita alojadas en esquistos y ortogneis dentro de una estructura de graben. En las inmediaciones afloran granitos sincinemáticos de dos micas. La principal mineralización

se encuentra en varias vetas de cuarzo de entre 0,5 y 4 m de espesor. El proyecto se ha detenido debido a requisitos medioambientales.

- La Parrilla (Cáceres). La Parrilla es un depósito de estilo veta hidrotermal que consiste en un sistema de vetas de cuarzo con scheelita y casiterita alojadas dentro de una secuencia del Esquisto Grauváquico precámbrico y ubicado sobre una intrusión granitoide enterrada, que se interpreta como la fuente de los fluidos mineralizantes. El proyecto se inició hace dos años con considerables dificultades para lograr la producción esperada.
- Barruecopardo (Salamanca). La mineralización hidrotermal de cuarzo-wolframio en Barruecopardo aparece dentro de las rocas intrusivas ígneas. El sistema de vetas y vetillas subverticales y paralelas de longitud y anchura variable (hasta 15 cm de ancho) está alojado en el leucogranito de Barruecopardo. El proyecto, iniciado recientemente, ha encontrado bastantes problemas para llegar a la producción de diseño.

Hablando sobre su conjunto, las dimensiones de los proyectos de wolframio son relativamente similares. Se pueden establecer dos grupos, proyectos con una «guía de producción» de aproximadamente 100 kmtu (1.000 t WO₃)/año: Los Santos, Valtreixal, San Finx y los proyectos que superan los 200 kmtu (2000 t WO₃)/año: La Parrilla y Barruecopardo.

Tántalo. España produjo una importante cantidad de tantálita a finales del siglo pasado, con depósitos en producción en Golpejas (Salamanca) y Penouta (Orense). El desarrollo del proyecto Penouta (España) se detuvo a causa de la crisis del estaño de 1985. Su nueva puesta en marcha supone la vuelta a la producción de tántalo y niobio en España. El depósito es parte de una cúpula de granito greinsenzado y albitizado que contiene un cuerpo mineralizado en Sn-Ta-Nb hasta una profundidad de más de 200 m. La mineralización de casiterita y minerales del grupo de las columbitas se encuentra finamente diseminada por todo el granito. El proyecto de Penouta comenzó en 2018 y está pasando por una etapa difícil. Los recursos valorados se aproximan a los 100 millones de toneladas. Tanto el contenido de tántalo (77 g Ta/t) como el contenido de estaño (443 g Sn/t) son esenciales para la economía del proyecto.

Litio. Como en otros metales, la capacidad de satisfacer las necesidades de metales europeos siempre es insuficiente; sin embargo, en el litio, parece posible satisfacer estas necesidades a corto plazo. En España, varios proyectos han alcanzado el nivel

señalado por el Estudio de Viabilidad Económica, y algunos se encuentran en el inicio de las inversiones. Todos los depósitos se rigen por un estándar de calidad reconocido que se utiliza para validar sus recursos y reservas.

En España, en este momento existen dos ejemplos de proyectos avanzados: el proyecto Valdeflórez y el proyecto de Las Navas. Estos proyectos se refieren a depósitos mineralizados de roca dura, y tanto sus leyes como sus circunstancias geológicas se parecen a muchos de los proyectos operativos del mundo.

- Valdeflórez (Cáceres). Contiene *stockworks* de vetas Qz-Sn-Li y un depósito de mineral masivo formado por metasomatismo de la roca de caja por micas de litio. Los recursos están valorados en 14,1 millones de toneladas con 1,1% de Li₂O. Es el proyecto español más avanzado, contando ya con una ingeniería sólida que tiene como objetivo conseguir el mayor valor añadido para obtener hidróxido de litio con calidad de batería. La falta de comprensión por parte de las administraciones locales y regionales ha impedido su continuidad. El proyecto ha sido renovado con un cambio de titularidad.
- Las Navas (Cáceres). En la mina Las Navas se pueden observar diques de pegmatita en los materiales del Esquistos Grauváquico. Este proyecto cuenta con recursos suficientes para operar y producir más de 20 000 toneladas de CLE (carbonato de litio equivalente) por año. Está pendiente de las autorizaciones ambientales.

Metales preciosos (Au, Ag)

Proyecto	Dimensión (t ROM/year)	Dimensión unidades de producción	Vida años	Estatus desarrollo
Orovalle	0,6 mill. t/a Subterránea	64 000 onz Au: 200 000 onz Ag 3000 t Cu	6	5
Salave**	0,65 mill. t/a Subterránea	79 200 onz Au	14	3-4
Corcoesto**	1,8 mill. t/a Cielo abierto	106 000 onz Au	10	3

(*) ROM (*run-of-mine*); (**) en espera.

Tabla 4. Situación de los proyectos de oro-plata españoles.

En España solo hay un proyecto productor de oro, aunque las posibilidades de tener producciones importantes de este metal son bastante altas (tabla 4). La plata es un elemento que acompaña inevitablemente a los minerales de cobre y zinc (tabla 3).

Por esta razón, especialmente en la Faja Ibérica de Pirita (IPB), la plata contribuye a la economía del proyecto.

- *Orovalle*. El depósito de oro de la mina El Valle-Boinás-Carlés es parte de un skarn en el Cinturón de Oro del Río Narcea. Está asociado con el stock de Boinás, que encaja parcialmente en una serie carbonatada de edad cámbrica. El complejo se ve afectado por episodios hidrotermales que removilizan algunos elementos, brechifican y enriquecen con oro la zona mineralizada. Orovalle es la continuación de las explotaciones de oro de Río Narcea, que inició su actividad a principios de este siglo. En total, la extracción de metales en esta zona alcanza el millón de onzas de oro. Ahora todavía le quedan 9 millones de toneladas de reservas y recursos, con aproximadamente 4.0 g Au/t. La producción real es de aproximadamente 50 000 onzas de oro al año. Orovalle ha iniciado amplias actividades de exploración para mantener su presencia en otros cinturones auríferos asturianos.
- *Salave*. El depósito de oro y plata de Salave incluye un grupo de cuerpos mineralizados poco profundos y casi horizontales asociados con zonas de fractura alteradas en la granodiorita de Salave. Según un informe técnico elaborado por la propiedad, la empresa indicó que, con base en la norma NI 43-101, los recursos medidos e indicados de Salave alcanzan los 6,5 millones de toneladas, con una ley de 4,5 g Au/t, es decir, 0,95 millones de onzas de oro. El proyecto Exploraciones Mineras del Cantábrico se ha adaptado a los requerimientos ambientales marcados por la Administración regional (minería subterránea, distancias de la planta de procesamiento, venta del oro contenido en un concentrado de flotación y otros) para obtener permisos definitivos.
- *Corcoesto*. El yacimiento de oro de Corcoesto está ubicado en una banda de aproximadamente 2 km de ancho en la parte noroeste del dominio de lutitas de Galicia-Tras-Os-Montes (SDGTM). La mineralización de mayor ley está relacionada con las vetas de cuarzo que contienen arsenopirita. Edgewater Exploration ha valorado unos recursos (medidos e indicados) para llegar a 5,8 millones de toneladas, con una ley de 1,74 g Au/t y 350 000 onzas de oro. Actualmente, el proyecto ha sido detenido por la Administración regional y está siendo apelado por la empresa afectada.

Los minerales industriales de interés estratégico

Este trabajo tan solo se referirá a los minerales no metálicos de carácter industrial y que se encuentren en la lista de las sustan-

cias críticas para Europa (tabla 5), además de que posean una producción estable en España. Tomados de esta manera, tan solo existen dos tipos de minerales: la celestina (estroncio) y la fluorita o espato flúor (flúor).

Espato flúor o fluorita

En este mineral, España ocupa una buena posición mundial, aunque no pase del 2,5% de su producción total. La fluorita cada vez es más escasa y sus propiedades la hacen imprescindible en varios sectores industriales. Además, España posee una baza importante al contar con Minersa, que es una importante pieza en el mercado internacional del flúor.

Minersa. Esta empresa es una verdadera multinacional. Posee depósitos minerales de fluorita en el norte de España y también en Sudáfrica. Además, es propietaria de Derivados del Flúor, único fabricante español de productos fluorados, con fábrica en Ontón (Cantabria), con una capacidad de producción de 60 kt/año de ácido fluorhídrico y de 50 kt/año de otros productos inorgánicos fluorados, exportando más del 75% de su producción, permitiéndole estar presente en todo el mundo⁸.

Sus proyectos en actividad se sitúan en Asturias: Cucona, Emilio y Ana, sobre todo. La planta de tratamiento por flotación se encuentra en Berbes, donde produce fluorita de calidad «ácida» (superior al 97% F₂Ca).

Proyecto	Dimensión (miles t/año)	Dimensión unidades de producción	Vida (años)	Estatus de desarrollo***
Fluorita				
MINERSA. Minas Cucona, Muscona, Emilia	414 000 t/a Subterránea	150 000 F ₂ Ca	10	5
Minas de Lújar y minas de Gádor	29 000 t/a Subterránea	19 000 F ₂ Ca	10	5
Celestina				
Montevives	50 000 t/a Cielo abierto	30 000 t SO ₄ Sr	8	5
Escúzar	200 000 t/a Cielo abierto	80 000 t SO ₄ Sr	6	5

Tabla 5. Situación de los proyectos de minerales críticos industriales.

⁸ IGME. *Panorama Minero 2017*, 2018. <http://www.igme.es/PanoramaMinero/PMLin.htm>

Estroncio-celestina

La explotación de este mineral sitúa a la producción española como la más importante del mundo. Además, sus recursos también parecen muy importantes, quizás superiores a los 10 millones de toneladas. Los depósitos en explotación, todos en la provincia de Granada, son los siguientes:

- *Escúzar*. El yacimiento corresponde a rellenos de celestina mezclada con yesos en los huecos de karstificación formados en series calizas y margoso-calizas, de edad Tortonense-Messiniense (Mioceno superior). La explotación minera consta de una planta de trituración, preconcentración por medios densos, molienda y flotación. La explotación minera produce un mineral del 35%-50% de sulfato de estroncio que, tras su paso por el proceso de concentración, supera el 90%⁸. Su propiedad pertenece a Solvay Minerales, que la explota desde 1990.
- *Montevives*. El depósito mineral se encuentra en una estructura de tipo horst en la zona central de la Depresión de Granada. Su formación se debe al reemplazamiento diagenético de calcita y dolomita por celestina. La roca encajante es caliza con textura algal laminiítica y, a veces, con estromatolitos. Su edad es del Tortonense-Messiniense (Mioceno superior). La firma Canteras Industriales S.L., tras tres años de inactividad en el yacimiento de Montevives, desde 2012 recupera las antiguas escombreras⁸. Desde el año 2000, la empresa española QUÍMICA DEL ESTRONCIO, S.A. produce carbonato de estroncio a partir de celestina. Sus instalaciones están ubicadas en el valle de Escombreras (Cartagena, Murcia).

El valor y la importancia de la producción minera española

El PIB minero español y otros índices

Vista en su conjunto, la producción de la minería metálica española sigue diferenciándose del resto de sustancias minerales, suponiendo en el año 2018 el 35% del total (1218 millones de euros)⁹. Esto supone alrededor del 0,1% del PIB nacional

⁹ MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. *Estadística Minera Anual 2018*. <https://energia.gob.es/mineria/Estadistica/Paginas/Consulta.aspx>

(tabla 6), mientras que todo del valor de la minería española representa el 0,3% del PIB. Además de esta situación, los proyectos vigentes, y algunos que se incorporarán en breve, sobresalen por la magnitud de su facturación individual, el nivel tecnológico desplegado y, algunas veces, por su posición en los indicadores de sostenibilidad y circularidad de sus economías, como veremos más adelante.

Valor de la producción española de metales sobre el PIB nacional			
Año	2018	2019	2020
Valor de la producción minera de España***	3485 mill. €	3470 ^p mill. €	3053 ^p mill. €
Valor de la producción de metales	1218 mill. €	1173 mill. €	1070 ^p mill. €
PIB nacional	1 202 193 mill. €	1 244 757 mill. €	1 136 463* mill. €
% del PIB	0,29%	0,27%	0,27%
% del PI**	1,8%	1,7%	1,6%

(*) estimado al 3.º trimestre de 2020; (**) producto industrial, considerando el valor industrial igual al 16,1% de la economía nacional (2018); (p) años 2019 y 2020, previsiones basadas en las variaciones de la minería metálica; (P) Previsión.

Tabla 6. Valor de la producción de los metales sobre el PIB nacional.

En el año 2018, la contribución al empleo nacional del sector minero en España ha sido de 29 890 empleos directos, de los cuales, 22 869 puestos de trabajo correspondieron a la extracción de rocas y minerales no metálicos, 1 897 a minerales energéticos y 5 124 a minerales metálicos⁹.

Niveles estratégicos de la producción minera española

Si aceptamos el significado de lo estratégico como imprescindible o al menos necesario para la existencia o producción de una parte de la actividad industrial, para las materias primas minerales (MPM), nos podemos encontrar en las siguientes cuatro situaciones:

1. *Las MPM verdaderamente estratégicas.* Es decir, aquella producción mineral sin la cual peligraría la existencia de una parte de la actividad económica española. Es decir, no

podrían sustituirse por su importación sin poner en grave riesgo el sistema productivo. Tal es el caso de las materias primas relacionadas con la construcción (gravas y áridos en general), pero también las MPM que entran a formar parte de la fabricación de los cementos, cales y yesos. También es el caso de las canteras de rocas ornamentales, sin las cuales dejarían de existir gran parte de la actividad de los telares y fábricas dedicados a la producción de tableros para el revestimiento de edificios.

El escaso valor unitario de los productos generados limita en muchos casos la máxima distancia entre productor y consumidor y, salvo ejemplos muy específicos, el suministro está garantizado por la abundancia en la naturaleza. La variedad de situaciones geológicas que ofrece España ayuda al aseguramiento de este suministro. Aproximadamente, su valor integral fue de 1262 millones de euros en el año 2018⁹.

2. *El sentido económico de los metales básicos en España.* Un metal básico es un metal común y económico. No existe ninguna definición rigurosa acerca de este grupo de metales. Generalmente, se consideran de carácter básico el aluminio, cobre, zinc, plomo y níquel. Para el caso español, solo se pueden considerar, en razón de su importancia económica, el cobre, zinc y plomo, ya que el níquel ha dejado de extraerse hace muy pocos años, y el aluminio no posee yacimientos de importancia.

De manera muy notable, existe una concentración de la producción de los metales básicos españoles en el suroeste peninsular, en la denominada Faja Pirítica (IPB). Fuera de ella tan solo existen dos proyectos de importancia todavía sin desarrollar: Touro (cobre), en Galicia, y Toral (zinc-plomo), en León.

El valor (tomado en el año 2019) de la producción de metales básicos es de 1230 millones de euros, es decir, aproximadamente un tercio del valor minero total de España¹⁰. Es decir, el valor de la producción en los tres proyectos vigentes en la IPB es más que notable, sobre todo en relación del entorno en que se mueven. En definitiva, son proyectos de

¹⁰ ESPÍ, J. A.; DE LA TORRE, L.; ROMERO, P. «La minería metálica española del año 2020 y la definición económica, tecnológica y sostenible de sus proyectos». *Industria y Minería*, n.º 410, 2020.

elevado valor estratégico a nivel regional. Hay que tener en cuenta que su pueblo minero puede superar las 4000 personas como empleo directo.

3. *Los metales tecnológicos (escasos y especiales)*. En el sector de las materias primas de origen en principio natural, la irrupción de una nueva tecnología desata una amplia fantasía respecto al suministro procedente de los recursos de la Tierra. No hay más que fijarse en la importancia que está cobrando la acción climática a nivel político y de economía global. La posesión y control de las tecnologías que transformarán en más verdes la energía y la industria, así como de sus cadenas de suministro y recursos minerales asociados, resultarán clave en la década actual.

La UE hace años que se ha planteado el problema del suministro seguro de las materias primas necesarias para su industria, en especial para aquellos sectores que utilizan metales no muy abundantes y muchas veces ligados a las nuevas tecnologías, o bien de la producción con altos índices de sostenibilidad. De ahí nace la línea Raw Materials como política para lograr un acceso fiable y sin obstáculos a las materias primas en la UE, así como las acciones que su aplicación ha conllevado en Europa. Entre dichas acciones se encuentra la Raw Materials Initiative, que fija en 2008 una estrategia para tratar el asunto de las materias primas en la industria en la UE, con publicaciones regulares conteniendo un listado de materias primas críticas; y el European Innovation Partnership on Raw Materials, como plataforma de grupos de interés para la promoción de la innovación en el sector de las materias primas.

Una forma de racionalizar estos conceptos consiste en agrupar las sustancias naturales en conjuntos que intervienen en las tecnologías de manera más o menos permanente o bien ligadas a cambios relacionados con la innovación. Tomando el planteamiento de J. A. Espí, L. de la Torre y P. Romero (2021)¹¹, las tecnologías nuevas y emergentes, en particular las vinculadas a las energías

¹¹ ESPÍ, J. A.; DE LA TORRE, L.; ROMERO, P. *La minería metálica española del año 2020 y la definición económica, tecnológica y sostenible de sus proyectos*. IMEB-Consejo de Colegios de Ingenieros de Minas de España, 2021. <https://ingenierosdeminas.org/noticia.php?id=491>

renovables, el transporte y las TIC (tecnologías de la información y la comunicación), ha provocado una demanda de metales tales como el litio, el wolframio, el cobalto, las tierras raras y otros. En Europa existe una fuerte llamada al abastecimiento responsable de minerales para tecnologías verdes y, hasta cierto punto, la minería de España puede contribuir de manera notable a la producción que necesita. De la Torre y Espí (2018-2020), en sus artículos sobre el tema, se refirieron a ellos denominándolos *escasos*.

La aparición de la idea de los minerales o metales de extraordinario interés coincide con las recientes denominaciones de *estratégicos*, *críticos* o *supercríticos*. Esto se relaciona con el hecho de que, para el normal desarrollo de industrias de carácter estratégico por su elevada tecnología o incluso por su ayuda ambiental, se debe contar con suministros fáciles o asegurados de productos minerales que, muchas veces, no cumplen esas dos condiciones. Sin embargo, esta escasez es siempre relativa o temporal. Las razones de ello hay que buscarlas en las coyunturas del momento o fallos puntuales de la relación oferta/demanda debida a diversas causas.

Así, y a pesar de las notables diferencias que existen entre ellos en cuanto a sus propiedades y, en ocasiones, en sus formas de aparición en la corteza terrestre, sí presentan similitudes:

- Generalmente, estos metales no son críticos en el sentido definido en la línea de materias primas de la UE, sino más bien escasos, al apartarse notablemente de su abundancia en la naturaleza. Aparecen en la vida industrial debido a las necesidades tecnológicas actuales, pero ya eran antes demandados (litio, cobalto, tierras raras).
- Su producción todavía es limitada. Casi todos se mueven alrededor de 100 000 toneladas (o menos) por año.
- Poseen un valor limitado. El valor de su producción mundial, generalmente, es inferior a los 10 000 millones de dólares al año, frente al valor de mercado de otros metales, como el cobre, que es de 140 000 mill. \$/año.
- En la naturaleza aparecen en forma de pequeños depósitos minerales, o que aún no son bien conocidos y suelen encontrarse acompañando a otros metales de mayor importancia económica.

- Para ellos existe la posibilidad de sustituciones y reciclaje, y, también, de cartelización, cuando no de monopolio. Sin embargo, el grupo Sn-W-Ta-Li (que son los de producción actual española) aparece una asociación natural de tipo geológico, al menos, para las condiciones más frecuentes.



Figura 1. Minerales críticos para la UE y países que los producen.

La UE, en 2020¹², emite un informe en donde amplía hasta veinte el número de sustancias minerales de carácter crítico según su criterio valor-riesgo: *Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Final Report*.

¹² EU. *Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Final Report*, 2020. https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en

Materias primas críticas para Europa* (2020)		
Antimonio	Hafnio	Fósforo
Barita	Tierras raras pesadas	Escandio
Berilio	Tierras raras ligeras	Silicio
Bismuto	Indio	Tántalo
Boro	Magnesio	Wolframio
Cobalto	Grafito natural	Vanadio
Carbón doméstico	Caucho natural	Bauxita
Fluorita	Niobio	Litio
Galio	Platínidos	Titanio
Germanio	Roca fosfática	Estroncio

(*) La carga de color corresponde a los metales que actualmente produce (o está próxima a producir) España.

Tabla 7. Listado de las materias primas críticas de Europa.

Vista en su conjunto (tabla 7), se comprende como la apreciación europea dista de la visión española actual, ya que nuestro país todavía no produce componentes industriales de estas sustancias, a excepción de la fluorita y, quizás, del wolframio. Nuestro país, generalmente, se abastece de componentes y productos químicos elaborados adquiridos en el exterior. Sin embargo, no se puede descartar que, en plazo breve, algunos componentes industriales pudieran ser fabricados en España. Tal es el caso de las posibilidades que se manifiestan en el litio y que pueden derivar en verdaderos clústeres de desarrollo.

Posición de la minería española ante los elementos críticos de la UE					
Elemento crítico	Producción nacional	Reservas y recursos indicados	Recursos inferidos	G _c : Grado de importancia %	Previsiones < 5 años: % de la prod. mundial
Litio	60 t Li ₂ O/año	370 X 10 ³ t Li ₂ O	677 x 10 ³ t Li ₂ O	1050 % - 10 años	15000 t Li ₂ O - 18 % (en 2018)
Wolframio	1079 t WO ₃ /año	104 X 10 ³ t WO ₃	53 x 10 ³ t WO ₃	103 % - 1 año	5000 t WO ₃ - 5 %
Tántalo	10 t Ta ₂ O ₅ /año	7550 t Ta ₂ O ₅		397 % - 4 años	
Tierras raras	-	22 x 10 ³ t REO*	4 x 10 ³ t REO*	13 % < 1 año	2000 t REO - 1 %
Fluorita	145 x 10 ³ t F ₂ Ca/año		10000 x 10 ³ t F ₂ Ca	2 % - 1 año	150000 t F ₂ Ca - 2 %
Estroncio	85 x 10 ³ t SO ₄ Sr/año		8400 x 10 ³ t SO ₄ Sr	3800 % - 38 años	85000 t SO ₄ Sr - 39 %

(*) REO, conjunto de tierras raras.

Tabla 8. Indicadores de los metales y minerales críticos que se producen en España. Elaboración propia.

En la tabla 8, para los metales críticos de la UE que se producen en España, se han creado dos indicadores acerca de la magnitud que significa esta producción sobre el total mundial producido. Gc es la proporción en % o en años de abastecimiento hipotético de las necesidades mundiales a partir de los recursos españoles valorados. Es decir, la respuesta a la pregunta de cuántos años de abastecimiento (o proporción en %) de la demanda mundial de una sustancia crítica significarían el total de los recursos (al menos indicados) de los yacimientos españoles preparados para producirlos en condiciones económicas. La última columna de la tabla indica cuánto supone en toneladas de producto acabado la producción prevista a no más de cinco años de una sustancia crítica. Además, informa sobre el porcentaje que ello significa.

La tabla muestra cómo la producción española es fundamental para el abastecimiento mundial de estroncio. Sin embargo, la importancia del suministro de litio en realidad es menor de lo que aparenta, ya que la geografía de este metal variará enormemente en los próximos años, a medida que la demanda se multiplique para abastecer las baterías de los vehículos eléctricos. En cambio, la relativa buena posición en el abastecimiento de wolframio puede consolidarse con el transcurso del tiempo y el agotamiento próximo de varios depósitos mundiales.

Una importante observación es acerca de las dificultades de llevar a cabo la preparación y el desarrollo de los nuevos proyectos a causa de la aceptación social y, a veces, de la falta de comprensión de las administraciones públicas. De manera bastante generalizada, este tipo de proyectos no presentan daños irreparables al medio ambiente si se establecen medidas de control suficientemente rigurosas.

También, hablando de manera general, las empresas que pretenden acometer el aprovechamiento de estos recursos ya cuentan con que deben ser cuidadosas en ese aspecto. Además, la propia UE avisa a los Estados miembros que existe un verdadero problema de seguridad de abastecimiento y que, dentro del respeto al principio de la conservación ambiental, se deben arbitrar soluciones para ayudar al aprovechamiento de sus recursos.

De esta manera, dentro de la política europea de asegurar el suministro de materias primas, el desarrollo de sus propias potencialidades ha sido objeto de especial atención. Además, la atención a las condiciones de este desarrollo ha originado una variedad

significativa de proyectos. Un ejemplo de ello es SUPRIM¹³, que utiliza el análisis de ciclo de vida (LCA) como su principal herramienta, modificándolo a una «evaluación de impacto del ciclo de vida» (LCIA), tratando de evaluar el impacto ambiental y el progreso de producción primaria sostenible.

SUPRIM podría ser parte de una nueva herramienta de evaluación para complementar las herramientas existentes vinculadas a la minería de conflictos, las emisiones de CO₂, las listas de materias primas críticas, las huellas ambientales de los productos y los esquemas de abastecimiento responsable. En EIT RawMaterials Project¹⁴, iTarg3T (Innovative, Targeting and Processing of Tin-Tungsten-Tantalum) analiza las condiciones de los proyectos minerales europeos de carácter tecnológico y proporciona una visión integral de las condiciones geológicas, económicas y ambientales, pronosticando la situación de su propio suministro a corto plazo. Además, dentro de Horizonte 2020 hay otros proyectos que contribuyen de forma más indirecta a definir la situación de los metales estratégicos para Europa y su próximo futuro.

Tal como se verá al final del capítulo, se propone una nueva visión de análisis sobre la posible formación de «clúster de desarrollo» como concepto y herramienta para el aprovechamiento seguro y responsable de los recursos nacionales.

4. *Más allá de la producción nacional.* El sentido estratégico de la producción de las materias primas minerales está marcado por el aseguramiento de su suministro a las fuentes de producción industrial de carácter nacional. Por ello, la visión de su producción segura puede implicar también a la extensión de la cadena de valor de la minería y, también, a la relación con fuentes de producción más allá de las fronteras nacionales.

El sentido europeo de la producción minera

La política de materias primas de la UE esbozada por la Iniciativa de Materias Primas (RMI) se estableció en 2008, en gran parte

¹³ DRIELSMA, J.; SOCHOROVÁ, V. «Sustainable management of primary raw materials through a better approach in Life Cycle Sustainability Assessment (SUPRIM)». *Newsletter*, May 2019. http://www.euromines.org/files/suprim-newsletter_210x-297mm_e_final_0.pdf

¹⁴ iTarg3T GROUP. *EIT Raw Materials*, 2019. https://www.itarg3t.eu/Networks_and_project/networks_and_project.html

como respuesta al aumento extraordinario de las cotizaciones mundiales de los metales en el periodo 2003-2008. La iniciativa se centró en tres pilares para asegurar el suministro de materias primas:

- (i) El suministro justo y sostenible de materias primas de los mercados globales.
- (ii) Suministro sostenible de materias primas desde dentro de la UE.
- (iii) Eficiencia de recursos y suministro de materias primas secundarias a través del reciclaje.

La UE, a través de sus diversos instrumentos y agencias, ha apoyado al sector minero y a sus partes interesadas. La Comisión Europea, a través de la convocatoria Horizonte 2020 y del Séptimo Programa Marco, ha financiado proyectos centrados en aspectos técnicos, sociales, políticos y de gobernanza en materias primas.

Si bien el empleo generado directamente por el sector minero de la UE puede ser relativamente bajo en relación con otras industrias, sin embargo, también da lugar a empleos secundarios en industrias auxiliares (como equipos y servicios) y puede crear oportunidades de inversión. El plan estratégico de ejecución establece unos objetivos claros para la estrategia de materias primas de la UE:

- Reducir la dependencia de las importaciones y promover la producción y las exportaciones mejorando las condiciones de suministro de la UE, diversificando el abastecimiento de materias primas, mejorando la eficiencia de los recursos (incluido el reciclaje) y encontrando materias primas alternativas.
- Poner a Europa a la vanguardia en los sectores de materias primas y mitigar los impactos ambientales, sociales y sanitarios negativos relacionados.

La sostenibilidad ambiental y social

En términos generales, los temas de sostenibilidad ambiental y social abarcan todos los aspectos no técnicos de la actividad minera, desde la participación de la comunidad local y el respeto de los derechos humanos hasta la mitigación y protección de la biodiversidad y los hábitats. Estos han sido codificados bajo

una serie de estándares de mejores prácticas. En general, la UE espera que las materias primas que consume se extraigan bajo los estándares de mejores prácticas, ya sea que provengan de proveedores nacionales o internacionales. Los códigos de conducta establecidos bajo las directrices de la OCDE para multinacionales y para cadenas de suministro responsables de minerales, las recientes regulaciones de la UE sobre minerales de conflicto son algunos de los ejemplos de la perspectiva de la UE sobre la sostenibilidad ambiental y social de su consumo de minerales.

Además de las contribuciones económicas positivas para los países de acogida que resultan de la importación de materias primas por parte de la UE (ingresos fiscales y de exportación, inversión extranjera directa, transferencia de habilidades y tecnología y mejores prácticas, etc.), también hay impactos negativos.

La importación de minerales permite a la UE transferir la carga de los impactos ambientales y sociales de la producción de minerales al país anfitrión. En algunos países, las regulaciones nacionales y los estándares de mejores prácticas tienen como objetivo que la empresa minera gestione/internalice en gran medida dichos costos. En otros países, las regulaciones y/o su implementación aún están rezagadas y las empresas mineras continúan operando con prácticas mineras menos responsables. Cuando las regulaciones y la gobernanza son débiles, la carga de la sostenibilidad se transfiere a las comunidades locales y los Gobiernos, que a menudo están mal equipados para lidiar con ellos.

Los impulsores clave del sector minero internacional

El sector minero global ha cambiado significativamente en los últimos años como resultado de la creciente globalización y el surgimiento de China. Al mismo tiempo, muchos desafíos han permanecido iguales o se han intensificado. También son importantes los aspectos siguientes.

La demanda global

La demanda mundial de minerales sigue aumentando y, aunque la UE es uno de los mayores usuarios mundiales, el mayor crecimiento de la demanda de metales primarios está surgiendo en otras regiones. China sigue siendo el principal impulsor de la demanda mundial de minerales en este momento. A medida que

aumentan los niveles de ingresos en otros países de Asia, África y América Latina, la demanda de los consumidores y los gastos en infraestructuras también impulsarán el aumento de la demanda de minerales.

Los minerales de tecnología verde

Las tecnologías nuevas y emergentes, en particular las vinculadas a las energías renovables, el transporte y las TIC, han dado lugar a una demanda de minerales no tradicionales como el litio, el cobalto, las tierras raras y otros. A medida que más países adopten estas tecnologías, tanto en Occidente como en Oriente, se espera que la demanda de estos minerales en particular sea mayor en el futuro. En Europa, en particular, existe una fuerte llamada al abastecimiento responsable de minerales para tecnologías verdes, ya que la promoción de tecnologías amigables con el medio ambiente no es creíble si se asocia con violaciones de derechos humanos y contaminación ambiental.

Oferta y competencia global

Para satisfacer esta creciente demanda de minerales tradicionales y no tradicionales será necesario aumentar la inversión en proyectos de exploración y minerales. La inversión impulsada por los recursos se considera clave para el desarrollo económico en una variedad de países. Sin embargo, el número de inversores mundiales en minería sigue siendo limitado. Por lo tanto, los países compiten entre sí para atraer a las mejores empresas de exploración y minería, en quienes se puede confiar para que se desempeñen de acuerdo con los más altos estándares internacionales de mejores prácticas.

China como actor clave

China es un destino importante de las exportaciones de materias primas en todo el mundo:

- Destaca por tener una gran capacidad de fundición y refinación;
- por ser exportadora de productos terminados y semiacabados;
- por ser una inversora emergente en operaciones mineras internacionales; y

- un importante socio político y económico para varios países en desarrollo y emergentes.

Las asociaciones emergentes China-América Latina y China-África basadas en materias primas tienen implicaciones para las relaciones más tradicionales que existían entre la UE y estas regiones¹⁵.

Consideraciones de STRADE (2017¹⁶)

La combinación del potencial geológico y el entorno operativo determina la competitividad de la inversión minera de un país. Los inversores utilizan una serie de índices de atractivo minero basados en la percepción, siendo la encuesta anual de empresas mineras del Fraser Institute la más utilizada. Estas clasificaciones basadas en encuestas a menudo reflejan la «reputación» de un país en términos de sus políticas y posibles inversiones en su sector de recursos naturales.

El potencial mineral está limitado por la dotación geológica de un país. Aparte de garantizar que se dispone de buenos datos geológicos en el dominio público, un país no puede aumentar su dotación. Sin embargo, puede trabajar para aumentar el atractivo de su entorno político. El Índice de Percepción de Políticas del Instituto Fraser clasifica los países en función de factores tales como la administración de las regulaciones vigentes, las regulaciones ambientales, el sistema legal y el régimen tributario, la resolución de disputas, las condiciones socioeconómicas y de desarrollo comunitario, entre una serie de otros factores.

Los cinco principales países dentro de esta categoría incluyen tres Estados miembros: Irlanda, Suecia y Finlandia. Portugal, España y Polonia se encuentran entre los treinta primeros, mientras que otros Estados miembros se ubican mucho más abajo.

La clasificación del Índice de Percepción de Políticas para las jurisdicciones de la EU28 es mucho más alta, en relación con su clasificación en el Índice de Atractivo de Inversión, y también con el Índice de Potencial Mineral de Mejores Prácticas del Instituto Fraser (BPMPI). España posee 24 y 38; Francia tiene 62 y 79

¹⁵ STRADE (2018). *Strategic Dialogue on Sustainable Raw Materials for Europe (STRADE). Supporting the EU Mineral Sector Capitalising on EU strengths through an investment promotion strategy.* Masuma Farooki, Chris Hinde and Anton Lof.

¹⁶ STRADE (2017). *The Competitiveness of the European Union's Mining Sector.* Masuma Farooki, Adam Webb and Chris Hinde. SNL Financial Ltd.London, 2017.

en percepción de políticas y atractivo de inversión, respectivamente. Esto se debe, al menos en parte, a la percepción relativamente baja del potencial mineral en los países de la UE, y solo Finlandia (12), Suecia (18) e Irlanda (30) figuran en la clasificación de los treinta primeros países.

Compromisos actuales de Europa en materia de materias primas de origen responsable

La UE se comprometió a contribuir activamente a un abastecimiento más sostenible de materias primas de otras regiones del mundo. Además, la Unión Europea está ampliamente comprometida con la obtención de materias primas de países no pertenecientes a la UE de manera compatible con sus valores en materia de derechos humanos y desarrollo sostenible. Si bien estos compromisos están arraigados en varios documentos políticos y en un cambio de valor continuo entre una gran parte de la población europea, también se reconoce que la cuestión de la seguridad del suministro está profundamente entrelazada con la forma en que se producen los minerales en otras regiones del mundo. La distribución de papeles y responsabilidades para lograr un abastecimiento más responsable de materias primas de fuentes fuera de la UE requiere diferenciar entre:

1. Actividades destinadas a mitigar los peores tipos de impactos, como abusos de derechos humanos y formas extremas de impactos ambientales.
2. Actividades que buscan abordar otros tipos de impactos, incluida la mejora continua de los procesos relacionados con la minería y el aumento de los beneficios netos de la minería. El primer tipo de actividades requiere una fuerte participación empresarial, incluidas empresas no mineras de la UE¹⁶.

Mirando al futuro: visión bajo el modelo de un clúster de desarrollo sostenible

Búsqueda de un modelo de desarrollo en la actividad minera

De toda la complejidad esbozada hasta ahora nace la necesidad de establecer un modelo tanto de comprensión y análisis como de guía de aplicación práctica. De la Torre, Espí y Romero, en su trabajo «Economic, technological and sustainable qualification

with reference to Europe: Iberia's new metal mining projects»¹⁷, proponen y aplican un nuevo modelo de «clúster» minero de desarrollo sostenible para comprender y calificar un clúster de desarrollo minero para la minería española.

Hoy, la garantía de una actividad minera en sus facetas de sostenibilidad resulta una de las mayores garantías de la continuidad de la operación extractiva sin serias interrupciones. Sin embargo, la amplitud y heterogeneidad de la información hace que sea algo menos práctico evaluar conjuntamente estas tres áreas para los proyectos mineros, dada la casuística necesariamente individualizada por la particularidad de cada explotación y el momento en que se encuentra. Recopilar los indicadores enfocados individualmente para calificar una dimensión es una tarea difícil.

Fundamentalmente, los problemas se derivan del hecho de que los datos utilizados no siempre son suficientemente homogéneos. No siempre poseen la misma edad y, en general, son difíciles de obtener. Cualquier variación en cuestiones tales como los precios de los metales, los TC/RC (cargas del fundidor al final del proceso), los precios de la energía, el gasto en insumos y otros factores, afecta a casi todos los proyectos de manera diferente. Además, las condiciones de frontera, como las regulaciones administrativas, las oposiciones locales diferenciales a la minería, las estrategias de gestión de empresas o proyectos, las condiciones naturales, incluidas las meteorológicas y los desastres naturales, todas, afectan a los proyectos de diferentes maneras.

Sin embargo, la agrupación de provincias metalogenéticas, además de la homogeneidad de las condiciones geológicas (no siempre es muy evidente), presenta características de negocio muy similares. En España, las provincias metalogénicas coinciden con las agrupaciones de metales establecidas, es decir, el Distrito IPB de metales básicos (Cu, Zn y Pb); el distrito de la Península Occidental, o de sus metales tecnológicos (Sn, W, Ta-Nb, Li); y el distrito Norte, o de metales preciosos (Au-Ag).

Esta agrupación puede facilitar la comprensión de los procesos y ayudar a la calificación de proyectos bajo cuatro criterios de sostenibilidad diferentes. Incluso cuando se han realizado varios enfoques para la sostenibilidad de la minería en los últimos años

¹⁷ DE LA TORRE, L.; ESPÍ, J. A.; ROMERO, P., *op. cit.*

con un enfoque en la dimensión ambiental^{18,19,20}, un método de puntuación sostenible más holístico, que incluye las tres dimensiones de sostenibilidad, sería deseable como una solución más completa en contraposición a un tema complejo.

Según M. Porter²¹, en una economía globalizada, aunque parezca una paradoja, muchas de las ventajas competitivas duraderas residen en ciertos factores locales, como el conocimiento, el contacto y la motivación que rivales lejanos no pueden alcanzar. Los clústeres se definen como las masas críticas de empresas que operan en industrias relacionadas, basadas en una región, con un éxito competitivo inusual en ciertos campos. Si atendemos a las tres dimensiones de la sostenibilidad, partiendo del aspecto económico, se encuentra que el desarrollo de este tipo de iniciativas es muy positivo para las empresas involucradas, ya que los clústeres surgen porque elevan la productividad de una empresa²².

Esta concepción también refuerza la dimensión social a medida que se originan más empleos e impuestos en el área local debido a la creación de nuevas empresas (*upstream* y *downstream*). Al mismo tiempo, los temas ambientales son mejor abordados, ya que las empresas con un volumen mayor normalmente tienen mejores prácticas ambientales por unidad que las empresas con menor volumen de minería, más aún si se considera el concepto amplio de economía circular.

Qué es y cuándo nace el «clúster de distrito y de desarrollo»

El Distrito industrial marshalliano. La noción de «distrito industrial» ocupa hoy un lugar destacado entre las herramientas más utilizadas en el análisis económico y en la política industrial. Su

¹⁸ NAVARRO, V.; DINIS DA GAMA, C. «Quantifying the Environmental Sustainability in Underground Mining». Geotechnical Center of Lisbon, XV International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection (MPES 2006), 20-22 September 2006, Torino (Italia).

¹⁹ DIALGA I. «A Sustainability Index of Mining Countries». *Journal of Cleaner Production*, vol. 179, 1 April 2018, pp. 278-291.

²⁰ DE LA TORRE, L. «Natural Resources Sustainability: Iron Ore Mining». *Dyna*, vol. 78, n.º 170, diciembre 2011, pp. 227-234.

²¹ PORTER, M. «Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy». *Economic Development Quarterly*, vol. 14, n.º 1, 2000. <https://doi.org/10.1177/089124240001400105>

²² HARVARD BUSINESS SCHOOL, Institute for Strategy & Competitiveness. <https://www.isc.hbs.edu/competitiveness-economic-development/frameworks-and-key-concepts/Pages/clusters.aspx>

introducción se debe a uno de los científicos sociales europeos más influyentes, Giacomo Becattini. En su trabajo «Del sector industrial al distrito industrial», en *L'industria. Rivista di economia e politica industriale*, y referido por Trullén i Thomas²³, Becattini planteó la oportunidad de abordar en clave de «distrito» una parte importante de los procesos de industrialización, sustituyendo así el tradicional enfoque «sectorial». La razón del crecimiento de la productividad estaría en la existencia de economías externas a la empresa, pero internas al área en la que produce la empresa, desde la existencia de un mercado de trabajo local muy bien preparado hasta la disponibilidad de una particular «atmósfera industrial». El gran mérito de Becattini ha consistido en adoptar y adaptar el concepto marshalliano de distrito industrial para el análisis de los procesos industriales contemporáneos, retomando de paso la visión marshalliana de la economía como una ciencia social, dinámica y situada en su contexto histórico.

*El efecto distrito*²⁴. Es el conjunto de ventajas competitivas derivadas de un conjunto fuertemente interconectado de economías externas a las empresas singulares, pero internas al distrito. Estas economías no solo dependen de la concentración territorial de las actividades productivas (economías de aglomeración), sino también (y esta es la característica distintiva del distrito industrial) del ambiente social en el que dichas actividades se integran. Se trata, por lo tanto, de ventajas derivadas tanto de la dimensión global de la economía local como de las características de la organización social del lugar, que precisamente gracias a estas características, aún más que por las infraestructuras materiales, se convierte en un factor de producción añadido.

Si buscamos definiciones, la primera, la más aceptada, ha sido la de Porter²¹: «Los clústers son concentraciones geográficas de empresas interconectadas, proveedores de bienes y servicios especializados, empresas en industrias relacionadas e instituciones asociadas (por ejemplo, universidades, agencias de estandarización o asociaciones de comercio) en un campo determinado que compiten, pero también cooperan».

²³ TRULLÉN, I.; THOMAS, J. «El análisis de los procesos industriales en clave "distrito"». *Economía Industrial*, n.º 359, 2006 (ejemplar dedicado a: «El distrito industrial Marshalliano»), pp. 17-20.

²⁴ LAZZERETTI, L. «Distritos Industriales Clusters y otros: un análisis trespassing entre la economía industrial y la gestión estratégica». *Economía Industrial*, 2006, p. 59.

Porter propone que los clústeres representan una nueva forma de organización de la cadena de valor que se encuentra situada entre la mano del mercado, por un lado, y jerarquías organizacionales o integración vertical, por el otro. La proximidad local de compañías e instituciones, y el establecimiento de relaciones entre ellas, procura una mayor coordinación y confianza que la simple interacción de mercado entre actores dispersos geográficamente. Esta coordinación y confianza entre organizaciones es mucho más flexible que las que proveen las integraciones verticales o las relaciones formales entre empresas como redes, alianzas o colaboraciones.

Los clústeres geográficos o de distrito han sido vistos como la configuración territorial con más probabilidades de aumentar los procesos de aprendizaje, especialmente aquellos que influyen la difusión de un conocimiento determinado como lo es la innovación. Las empresas que poseen una cierta proximidad geográfica se pueden beneficiar de efectos de aglomeración desarrollando una infraestructura común. La infraestructura que afecta a los clústeres geográficos incluye las instituciones regionales. McEvily y Zaheer²⁵ encontraron relación entre el desarrollo de capacidades competitivas y la intensidad de la ligazón de las empresas a las instituciones regionales, entendiéndolo por estas, «organizaciones con orientación local que sirven de soporte colectivo a las empresas de la región». Una de las principales causas a las que se atribuye el éxito de los clústeres se debe a que las empresas que desarrollan actividades similares y que están emplazadas en un mismo entorno geográfico, se encuentran en una situación en la que cada una de las acciones que toman, aunque sean pequeñas, pueden ser observadas y comparadas por el resto de las empresas del clúster²⁶.

Las instituciones regionales (universidades, institutos de investigación tecnológica, centros de asistencia técnica, incluso de servicio y otros más) facilitan el desarrollo de capacidades competitivas entre las empresas locales actuando de intermediarios para el intercambio de información entre ellas. En lugar de mantener numerosos contactos con varias partes de la red, una empresa puede mantener una única conexión con las instituciones regionales que actúan de intermediarios y que se han

²⁵ MCEVILY, B.; ZAHEER, A. «Bridging ties: A source of firm heterogeneity in competitive capabilities». *Strategic Management Journal*, vol. 20, n.º 12, 1999, pp. 1133-1156.

²⁶ MASKELL, P. *Industrial and Corporate Change*, vol. 10, n.º 4, 2001.

especializado en proveer acceso a la información relativa a las capacidades competitivas²⁷.

Las razones por las cuales la eficiencia de un conjunto de empresas es mayor a la de cada empresa aisladamente se basan en las externalidades que genera cada empresa para las demás, y las cuales se reflejan en los siguientes puntos²⁸:

1. La concentración de empresas genera una fuerte competencia entre ellas, lo que induce a una mayor especialización, división del trabajo, y finalmente se obtiene como consecuencia una mayor productividad.
2. La fuerte interacción entre productores, proveedores y usuarios facilita e induce un mayor aprendizaje productivo, tecnológico y de comercialización.
3. Debido a que se generan un mayor número de transacciones en proximidad con los mismos agentes económicos, se genera una mayor confianza y reputación, lo que lleva a menores costos de transacción.
4. La existencia de un clúster, con el apoyo y conciencia de todos los involucrados, facilita la acción conjunta en pos de metas comunes.

Además, un factor importante para potenciar e intensificar los encadenamientos en casi todos los complejos con éxito ha sido una complementación institucional idónea, a veces de origen público (regional o estatal), siempre con la inclusión de asociaciones de los propios productores del complejo.

Cuáles son las diferencias de los posibles clústeres españoles sobre el modelo más común

Un clúster puede ser definido como la existencia de un vigoroso régimen competitivo y/o la acción conjunta de agentes para diversos fines, tales como solucionar problemas comunes, innovar o ingresar a nuevos mercados. Además, se necesita la existencia de una demanda sofisticada como catalizador para su continua innovación²⁷.

²⁷ MARTÍNEZ DEL RÍO, J.; CÉSPEDES-LORENTE, J. *Revista madri+d. Monografía: revista de investigación en gestión de la innovación y tecnología*, n.º 16, 2006.

²⁸ BUSTAMANTE, R. *Cluster Minero, Macro Zona Central de Chile*. Trabajo de título, agosto de 2005. Universidad de Chile.

Los principales componentes de un clúster minero

- *La actividad minera* en sí, que se encuentra conformada por las empresas de la gran, mediana y pequeña minería que operan en el país.
- *Los encadenamientos productivos hacia atrás*, formados por las empresas proveedoras de: insumos especializados (combustibles, productos químicos, energía eléctrica, gas, explosivos, agua, repuestos, neumáticos, etc.), equipo y maquinarias.
- *Los encadenamientos productivos hacia los lados* están compuestos por las empresas relacionadas con la minería pero que se relacionan también con otros sectores productivos. Son las empresas de servicios financieros, servicios de comercialización, generación y distribución de energía eléctrica, y otras muchas más.
- *Los encadenamientos productivos hacia adelante* se componen de empresas manufactureras de los metales y minerales y de empresas de otros sectores productivos que utilizan los productos de la minería como materias primas para la producción de sus propios productos.
- *Las empresas líderes del clúster*. El alto poder de negociación que poseen estas empresas líderes las hace presentarse como ejemplos de desarrollo para las empresas más pequeñas. A su vez, estas son vistas como empresas muy atractivas desde el punto de vista de proveedores que buscan vender sus servicios²⁷.

La concentración territorial de las empresas especializadas en una industria hace que en el distrito se concentre también un gran número de personas que, desarrollando actividades en parte parecidas y en parte complementarias, comparten una misma base de conocimiento codificado y, lo que es más importante, de conocimiento práctico relativo a esa industria²³. Es característica:

- La «atmósfera industrial», favoreciendo la circulación de los conocimientos y el aprendizaje recíproco, que hace que el ambiente del distrito sea especialmente apto para estimular la creatividad industrial de quien allí trabaja.
- La creatividad, además de por el elevado número de sujetos altamente cualificados que interactúan entre sí, está favorecida por el hecho de que las habilidades existentes en el distrito son variadas pero conexas.

Adelantándonos al punto siguiente, en la industria minera española, la asociación que presenta más características con las agrupaciones empresariales en el sentido de Becattini es la de los metales básicos (Cu-Zn-Pb) de la IPB en el sur de España. Además, a gran distancia, el conjunto de productores de metales de tipo tecnológico (Sn-W-Ta-Li). Sin embargo, las características generales difieren en los siguientes importantes aspectos:

- Fundamentalmente, la asociación se refiere a los aspectos tecnológicos y de conocimiento del entorno físico de sus recursos, sobre todo el geológico.
- La competitividad no siempre es clara. Las tres compañías de éxito que explotan los recursos de la IPB son de elevado tamaño y multinacionales. Las dos que comenzarán próximamente también lo son. Sin lugar a dudas, existe una competencia en lograr permisos de investigación geológicamente atractivos o la adquisición de antiguos proyectos ya olvidados.
- De momento no existen instituciones que catalicen esfuerzos empresariales, aunque la propia Junta de Andalucía parece implicarse en ello. Y también existe una gran fundición, Atlantic Copper, que puede apoyar esfuerzos tecnológicos innovadores.

Para los minerales tecnológicos sí parece que puede haber importantes oportunidades, no solamente en el aspecto de la producción primaria, sino en el aumento de la calidad del producto final y de las primeras transformaciones. Tal es el caso del mundo del wolframio y, sobre todo, del litio. Para este último, la generación de un clúster del litio hasta alcanzar las calidades de grado batería e incluso más allá es una magnífica oportunidad de desarrollo, de momento deshecha por la actitud de la Administración regional.

Aplicación del concepto de clúster de desarrollo sostenible a la minería española

En un bien conocido «clúster minero canadiense», la fortaleza de la aglomeración productiva en torno a la minería en Canadá se basa, en última instancia, en su generosa dotación de recursos minerales, la evolución de la extracción de los mismos y todas las actividades vinculadas a ella, sobre un periodo de quince años. Un conjunto de factores es de relevancia para explicar el éxito de la aglomeración en Canadá. Algunos de los más importantes son el tamaño y la diversidad de los recursos minerales, la existencia

de un marco legal estable, la proximidad a los principales mercados, la estrecha vinculación con algunos centros de innovación tecnológica y el desarrollo de un sector de productores de maquinaria y equipo especializado en comunicación con las empresas mineras²⁷.

La literatura sobre ventajas competitivas y aglomeraciones (clústers) sugiere que en lugares donde hay una masa crítica de empresas en torno a una actividad económica determinada se produce un proceso de mejoramiento de ventajas competitivas a partir de la interacción entre empresas o entre estas, instituciones especializadas y consumidores exigentes. Este proceso puede tomar distintas formas: cambio o mayor diferenciación de productos para insertarse en mercados más dinámicos; incorporación de eslabones de mayor valor en la cadena; innovaciones para mejorar la eficiencia y productividad; o incluso cambios hacia actividades económicas distintas que tengan mayores perspectivas de desarrollo²⁹.

Resumen del clúster canadiense	
Ítem	Canadá
Origen de la aglomeración minera	Gran cantidad de proyectos
	Gran número de plantas de tratamiento fundiciones y refinerías
	Tradición y cultura de clúster
	Existencia de un marco legal estable
Vínculo empresas mineras con empresas nacionales proveedoras	Alto
Aportes empresas mineras al conglomerado	Educación (alto)
	C&T (alto)
Tecnología	Alta, media y baja
Papel del Estado	Importante
Especialización	Explotación de minerales
	Servicios de exploración




Tabla 9. Clúster de éxito canadiense, según R. Bustamante.

La descripción de la aglomeración en torno a la minería en Canadá (tabla 9) incluye una cantidad y diversidad extraordinaria de actores especializados, contando con las empresas mineras

²⁹ BUITELAAR, R. M. *Agglomeraciones mineras y desarrollo local en América Latina*. CEPAL, 2011. CEPAL.org

y sus proveedores, consultores y otros servicios profesionales. Distintas instancias públicas impulsan iniciativas para dotar al sector con la infraestructura y conocimientos básicos, una visión estratégica común y proyectos de envergadura. La interacción entre todos los actores ha producido conocimientos y capacidades propias que distinguen a las empresas mineras canadienses en la competencia mundial.

Además, el potencial de la aglomeración para desarrollar ventajas competitivas nuevas estaría, sobre todo, fuera de la cadena productiva central, en el ámbito de la aplicación del conocimiento acumulado sobre el manejo del medio ambiente. Referidas solamente a las empresas de la Faja Piritica Ibérica (IPB), estas presentan una gran diversidad de motivos e intensidades. Además, se han clasificado en seis categorías, explicadas brevemente en la tabla 10 y desarrolladas en la figura 2.

Relaciones tecnológicas, ambientales y de gestión entre empresas IPB	
	<p><i>Hidrometalurgia.</i> CLC es una de las primeras empresas del mundo en aplicar la hidroquímica a presión ambiental directamente sobre los minerales de cobre. Tras el agotamiento de los sulfuros secundarios, CLC ha desarrollado el proyecto PMR (con el apoyo de la UE) sobre sulfuros primarios: primera concentración mediante flotación e hidrometalurgia de los concentrados de cobre y zinc previamente producidos. La lixiviación de los concentrados se puede aplicar a la mayoría de los proyectos de IPB, mejorando así, en muchos casos, el valor añadido de los productos finales.</p>
	<p><i>Metodología minera.</i> En la IPB destaca la empresa MATSA, que cuenta con proyectos subterráneos en los que ha aplicado alta tecnología en la extracción de minerales. Estas aplicaciones hacen referencia tanto al diseño, muy adaptado tanto a la geometría del depósito (en realidad son tres) como a los sistemas de carga remota, controles de vacío y otros. Las lecciones obtenidas pueden servir para un mayor ajuste metodológico en otros proyectos de minería subterránea, es decir, Los Frailes y otros que ya están en el horizonte.</p>
	<p><i>Exploración minera.</i> Recientemente se ha avanzado mucho en la detección de depósitos ocultos. La FPI ofrece muy buenas condiciones para muchos de los sistemas de detección. Fundamentalmente, sus depósitos de interés son los sulfuros masivos de alta densidad, buena conductividad eléctrica y una buena respuesta magnética en muchos casos. MATSA descubriendo el yacimiento de Magdalena (completamente escondido) es un caso muy representativo. La experiencia en estos depósitos y en otros implica configurar un modelo de alta productividad en la exploración de la IPB en zonas hasta ahora desconocidas.</p>

























Relaciones tecnológicas, ambientales y de gestión entre empresas IPB	
	<p><i>Problema medioambiental.</i> Estos problemas juegan un papel importante en la minería de la IPB. Actualmente, los puntos de conflicto son la acumulación de residuos en áreas intensamente explotadas en la antigüedad (Riotinto), la lucha contra las emisiones de agua ácida en todos los proyectos y la estabilidad de los materiales, tanto interna como externamente (Cobre Las Cruces, en su día Aznalcóllar y otros). Además, los últimos accidentes mineros llaman atención al hecho de que las condiciones ideales de seguridad aún están lejos de lograrse. Por esta razón, la comunicación entre todos los actores de la FPI debe ser un elemento importante de un clúster minero.</p>
	<p><i>Fundición de cobre.</i> La región cuenta con una fundición de cobre, Atlantic Copper, que, además de ser uno de los mayores productores de cobre del mundo, ha jugado un papel importante en el proceso de producción de la IPB. Sin asignarle ninguna situación en la figura 1, si se forma algún tipo de agrupación, creemos que esta empresa puede tener un papel importante como catalizador tecnológico y estratégico.</p>
	<p><i>Fusiones o adquisiciones.</i> Algunos de los proyectos actuales, especialmente los que se están incorporando al complejo productivo de la IPB, pueden incorporarse a la producción de los mayores o los más agresivos. Esto se asume más o menos. Por ejemplo, Lagoa Salgada en la región portuguesa) no oculta esa posibilidad. Esto forma parte de una gestión dinámica que, respaldada por los buenos resultados de los últimos años, pertenece a la cultura de las empresas más poderosas de la IPB.</p>
	<p><i>Desarrollo descentralizado.</i> Son clave los modelos tecnológicos de desarrollo descentralizado que fomentan la colaboración abierta, como los modelos de código abierto. Un principio fundamental del desarrollo de código abierto es la producción entre pares, con productos como el código fuente, los planos y la documentación a disposición del público de forma gratuita. Esto sería especialmente útil para los proyectos de IPB.</p>

Tabla 10. Soporte de la figura 2: relaciones entre las empresas de la IPB (De la Torre, Espí y Romero, 2021).

	Cobre Las Cruces (CLC)	MATSA Aguas Teñidas (AT)	ATALAYA Riotinto (RT)	NEVES CO RVO Lundin (NC)	LAGOA SALGADA* (LS)	LOSFRAILES* (LF)
CLC						
MATSA						
RT						
NC						
LS						
LF						

(*) En desarrollo. Las empresas que inician o actúan como pioneras en innovaciones tecnológicas o de gestión se colocan de forma horizontal. Las viñetas enmarcadas en líneas gruesas corresponden a contactos existentes.

Figura 2. Relaciones entre empresas de la IPB* (ref. tabla 10).

De los indicadores de sostenibilidad a un clúster de desarrollo.
Aplicación de clústeres como idea de evolución

Para ver los proyectos de minería española en términos de sostenibilidad ambiental y economía circular, De la Torre, Espí y Romero¹⁷ utilizaron una simplificación de los indicadores de eficiencia económica, tecnológica, de sostenibilidad ambiental y de economía circular, a fin de compararlos con indicadores globales en todo el mundo. Como ya se ha dicho anteriormente, fundamentalmente en España se establecen dos grupos de proyectos mineros y, de ellos, el de los metales básicos en la PIB en el sur de España es el que progresa hacia un clúster especial de desarrollo sostenible. De alcanzarse, este sería el caso más proba-

ble y facilitaría el avance hacia una industria minera mucho más profunda, más segura y más aceptada. El valor del concepto de «clúster éxito» aplicado a la explotación de recursos no renovables es que, una vez logrado, la comunidad ya no dependerá del bien ya agotado. Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el cambio se traduce en el logro de la sostenibilidad con un significado «débil». En otras palabras, el cambio de uso del territorio y entorno asociado podría aceptarse debido a la permanencia del desarrollo económico (y social). Para ello, se debe enfatizar que, además, el emprendimiento que busque este objetivo debe enmarcarse dentro de las reglas de las tres del desarrollo sostenible. Por lo tanto, los proyectos deben valorarse en función de su camino de sostenibilidad hacia el clúster con éxito.

Conclusiones

Para Europa, la aportación de los metales producidos en la península ibérica y, sobre todo, en España, es una pieza indispensable en la política de aseguramiento del suministro de parte de las materias primas que necesita. Esto se refiere tanto a los proyectos de calidad (cobre, zinc, plomo) de la IPB como a metales con valor tecnológico (ahora estaño, wolframio, tántalo y litio). En España, como se deriva de este trabajo, los verdaderos impulsores de una minería sana y arriesgada proceden de la mayoría de los metales básicos. Estas empresas (ahora multinacionales) agregan valor en tecnología, control ambiental y espíritu emprendedor. Esto conduce a la creación de verdaderos clústeres internos, e incluso transnacionales. Además, pueden generar cadenas industriales y tecnológicas que aseguren la sostenibilidad económica de las regiones donde se desarrollan.

Se ha considerado que el nivel alcanzado por una agrupación de proyectos hacia un «clúster distrital» de éxito puede cumplir el objetivo de permanencia duradera, o sostenibilidad, de la actividad económica, aun cuando parte de los recursos minerales ya no existan. Desde el punto de vista de la estrategia de abastecimiento seguro, un clúster disminuye el riesgo de un corte de suministro, aprovecha mejor los recursos existentes y colabora a su mantenimiento a través de nuevos descubrimientos. Además, en su visión transnacional puede alargar sus redes hacia el exterior, aumentando la fortaleza de los agrupamientos creados.

Para lograrlo, los estándares de eficiencia económica, tecnológica y ambiental deben ser adecuados y, además, la agrupación debe

ser efectiva. Para ello, es necesario demostrar la existencia de relaciones entre la conveniencia tecnológica, ambiental y económica. Los resultados apuntan a la posibilidad de un «clúster de éxito» en la IPB, aunque sea de índole particular en relación a la alta capacidad tecnológica de los participantes. En el grupo de los metales tecnológicos, aún queda un largo camino por recorrer. Sin embargo, en proyectos con metales vinculados a la transición energética, es posible suponer que podrían ser núcleos de «clústeres tecnológicos» si contienen catalizadores de desarrollo, es decir, la Administración regional, los centros de investigación o la universidad.